急性偏热处理对肉仔鸡体热调节功能的影响

张少帅[1] 甄 龙[1,2] 张敏红[1*] 冯京海[1] 彭骞骞[1,2] 常 玉[1] 周 莹[1] 李 香[1,2] 李 萌[1,3]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；2. 河北工程大学农学院，邯郸 056021；3.东北农业大学动物科技学院，哈尔滨 150030）

摘 要：本试验研究了不同急性偏热处理（26 和 31 ℃）对肉仔鸡体热调节功能的影响。试验选取 40 日龄雄性爱拔益加（AA）肉仔鸡 24 只，转入人工气候室验舱，随机分成 3 个处理，每个处理 8 只。适应 2 d，温度 21 ℃，相对湿度 60%。42 日龄时，试验温度分别调整为 21(对照)、26 和 31 ℃，相对湿度 60%。温度转换在 1 h 内完成。保持处理条件 2 h（急性热处理）后采集试验样品，并在 2 h 内完成。结果表明：与对照处理相比，1）26 ℃急性热处理后，肉仔鸡体核温度、皮肤温度极显著升高（$P<0.01$），呼吸频率、血气指标无显著变化（$P>0.05$），血液钠离子（Na^+）浓度有降低的趋势（$0.05<P<0.10$），三碘甲腺原氨酸（T_3）浓度显著降低（$P<0.05$）。2）31 ℃急性热处理后，肉仔鸡体核温度、皮肤温度及呼吸频率极显著升高（$P<0.01$）；血液 pH 极显著升高（$P<0.01$），二氧化碳分压（PCO_2）、碳酸根离子（CO_3^{2-}）浓度极显著下降（$P<0.01$），氧分压（PO_2）有升高趋势（$0.05<P<0.10$）；血液钾离子（K^+）浓度极显著升高（$P<0.01$），Na^+浓度有下降趋势（$0.05<P<0.10$）；血液 T_3 浓度显著下降（$P<0.05$），皮质酮（CORT）浓度有上升趋势（$0.05<P<0.10$）。结论，与 21 ℃相比，急性偏热处理（26 和 31 ℃）不同程度影响肉仔鸡体热调节功能。

关键词：急性偏热环境；肉仔鸡；体热调节

中图分类号： 文献标识码： 文章编号：

高温对家禽生长和生产带来的危害是业内公认的长期存在的问题。在应对这一不利的环境时，家禽会进行一系列的调节维持体热动态平衡[1]。其中涉及行为以及皮肤温度、体核温度、呼吸频率、酸碱平衡、水盐代谢和内分泌等一系列与体热调节相关的生理生化反应[2-6]。而了解这种生理生化调节过程对准确判断肉仔鸡热舒适程度，和进一步研究缓解高温应激的调控措施有重要意义。不过，据统计目前国内外相关的研究主要集中在 32 ℃及以上高温热应激环境，对于偏热环境（26~31 ℃）的研究并没有引起足够的重视[7]。事实上，由于现代化技术在规模化肉鸡舍内的成熟运用[8]，偏热环境在实际生产中广泛存在，是家禽生产中面临的常见环境挑战之一[7]。

收稿日期：2015-08-24

基金项目：国家“十二五”科技支撑课题（2012BAD39B02）；中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07)

作者简介：张少帅（1991—），男，河北沙河人，硕士研究生，研究方向为家禽营养与环境。E-mail： zss9587@126.com

*通信作者：张敏红，研究员，博士生导师，E-mail： zmh66@126.com

本课题组在偏热环境的研究中发现，持续偏热处理（26 和 31 ℃，29~42 日龄持续 14 d）对肉仔鸡糖脂代谢及禽类解偶联蛋白（*avUCP*）mRNA 表达、生长性能[9]、免疫器官的发育、小肠形态结构、小肠黏膜免疫功能[7]以及不同休息行为时间占比[10]产生了不同程度的影响。由此可见，持续偏热环境已经对肉仔鸡的多项生理生化功能产生了不同程度的影响。但研究 31 ℃急性偏热刺激对肉仔鸡体热调节有关的生理生化的影响比较少见，而对于 26 ℃的相关研究尚未见报道。

因此，本试验以肉仔鸡为研究对象，研究不同急性偏热环境（26 和 31 ℃）对肉仔鸡生理、血气、电解质及内分泌指标的变化，探讨对家禽体热调节功能的影响，为肉仔鸡热舒适评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

选取同一批出雏、饲养管理一致、体质健壮的 40 日龄雄性爱拔益加（AA）肉仔鸡 24 只，体重（2 548±85） g，随机分成 3 处理，每处理 8 只。分别转入 3 个人工气候实验舱，适应期 2 d，温度 21 ℃，相对湿度 60%。42 日龄时，将其中 2 个舱的试验温度分别调整到 26 和 31 ℃，另 1 个舱保持 21 ℃不变，作为对照处理，以上相对湿度均为 60%。温度转换在 1 h 内实现，保持处理条件 2 h 后采集试验样品。

1.2 饲养管理

试验在中国农业科学院北京畜牧兽医研究所动物营养学国家重点实验室昌平试验基地人工气候实验舱内进行，温度、湿度自动控制（精度±1 ℃、±7%），无风、24 h 光照。试验肉仔鸡采用平养，所用笼具为本实验室研发的单层平养笼具[11]，每 8 只试验鸡饲养面积 0.64 ㎡。试验动物所用饲粮参照 NRC（1994）配制（表 1）。试验期间，肉仔鸡自由采食与饮水。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	56.51
豆粕 Soybean meal	35.52
豆油 Soybean oil	4.50
食盐 NaCl	0.30
石粉 Limestone	1.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.78
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.11
预混料 Premix[1)]	0.28
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/Kg)	12.73
粗蛋白质 CP	20.07

钙 Ca	0.90
有效磷 AP	0.40
赖氨酸 Lys	1.00
蛋氨酸 Met	0.42
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.78

1)预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 10 000 IU, VD_3 3 400 IU,VE 16 IU, VK_3 2.0 mg, VB_1 2.0 mg, VB_2 6.4 mg, VB_6 2.0 mg, VB_{12} 0.012 mg,泛酸钙 calcium pantothenate 10 mg,烟酸 nicotinic acid 26 mg,叶酸 folic acid 1 mg,生物素 biotin 0.1 mg,胆碱 choline 500 mg,Zn ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 40 mg,Fe ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 80 mg,Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 8 mg,Mn ($MnSO_4 \cdot H_2O$) 80 mg,I (KI) 0.35 mg,Se (Na_2SeO_3) 0.15 mg。

2）计算值 Calculated values。

1.3 测定指标与方法

以下指标均在 3 h 后（温度转换 1 h，保持处理条件 2 h）采集，分 4 组进行采集：体核温度组（2 人），呼吸频率组（3 人），皮肤温度组（3 人），血液相关指标组（2 人）。所有采集工作均在 2 h 内完成。为避免各样品采集相互影响，急性处理后第 1 个小时内先进行呼吸频率和皮肤温度的采集，第 2 个小时内进行体核温度和血液的采集。

1.3.1 生理指标

体核温度采用高精度数字温度计 JM6200 测量（分辨率 0.01 ℃，精度±0.05 ℃），测量方法：将探头部位插入肉仔鸡直肠 5 cm 处，读取完全插入后 30 s 的数据作为体核温度，从抓捕肉仔鸡到读数用时在 1 min 内完成。共计 24 只鸡，在 30 min 内测完。

呼吸频率采用 Canon EOS 550D 摄像模式拍摄，后期人工数出数据并记录。每隔 10 min 采集 1 次，每次测量每只鸡 1 min 的呼吸次数，共采集 6 次，6 次测量为同一只鸡，每只鸡呼吸频率为 6 次呼吸次数的平均值。其中每个处理中 8 只鸡作为 1 个拍摄循环。3 个人分别负责 3 个处理，并在 1 h 内完成。

皮肤温度的采集和分析使用热红外成像仪 InfReC H2640（热分辨率 0.03 ℃、精度±1%）。具体方法为：使用红外成像仪对肉仔鸡头部侧面、小腿（跖）侧面进行垂直拍摄，拍摄距离为 0.5 m，每隔 3 min 拍摄 1 次，连续拍摄 1 h，每只鸡拍摄 20 张红外照片。通过软件分析，记录每张照片中鸡头部侧面脸部区域、小腿区域的平均皮肤温度，取同一只鸡 20 个数据的平均值作为统计值。其中每个处理中 8 只鸡作为 1 个拍摄循环。3 个人分别负责 3 个处理，并在 1 h 内完成。红外拍摄见图 1。

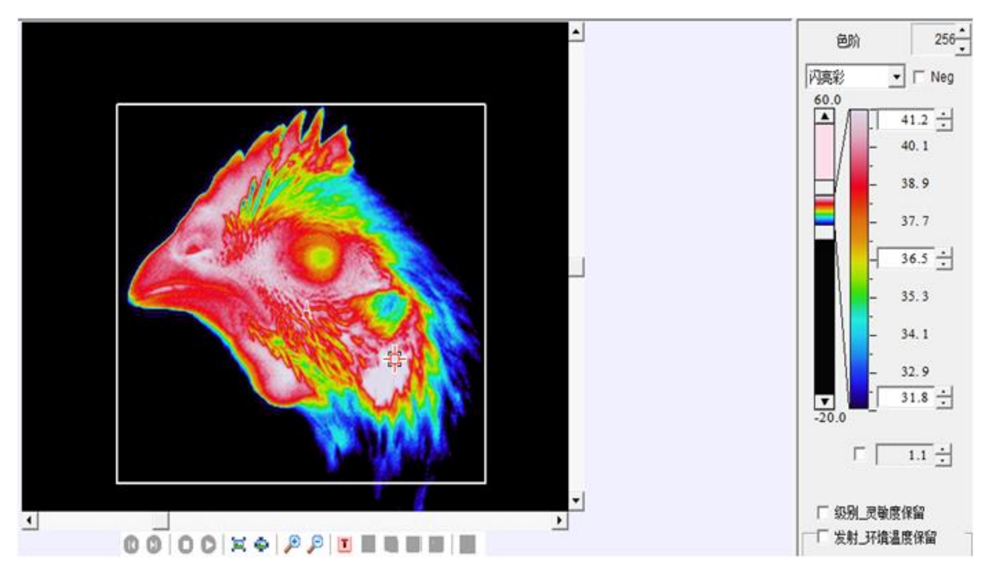


图 1　使用红外成像仪对肉仔鸡脸部平均皮肤温度的采集

Fig.1　Collection of facial average skin temperature of broiler chicken by infrared thermal imager

1.3.2　血气指标

对肉仔鸡进行心脏动脉采血，采血针事先用肝素锂抗凝剂湿润，取 1 滴新鲜心脏动脉血迅速测量血气指标，所用仪器为美国雅培手持式血气分析仪，测试卡选用 EC8+型。每个处理中 8 只鸡全部进行采集。

1.3.3　血液电解质及生化指标

对肉仔鸡进行翅静脉采血，3 000 r/min 离心 10 min 取上清液，－80 ℃冷冻保存，待测。血清钠离子（Na^+）、钾离子（K^+）、钙离子（Ca^{2+}）、氯离子（Cl^-）试剂盒购自南京建成生物工程研究所，Na^+浓度测定采用比浊法，所用仪器为分光光度计和半自动生化分析仪，K^+、Ca^{2+}、Cl^-浓度测定采用微板法，所用仪器为美国 Power Wave XS2 酶标仪。血清三碘甲腺原氨酸（3,5,3'-triiodothyronine,T_3）、甲状腺素（又称四碘甲腺原氨酸，3,5,3',5'-tetraiodothyronine,T_4）、皮质酮（cortisol,CORT）试剂盒购自南京建成生物工程研究所，采用酶联免疫吸附测定（ELISA）法，具体操作按说明书进行，所用仪器为美国 Power Wave XS2 酶标仪。

1.4　数据处理

采用 SAS 9.1 统计软件，对各个处理进行单因素方差分析（one-way ANOVA），采用 Duncan 氏法多重比较，试验数据用“平均值±标准差”表示，P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。

2　结　果

2.1　急性偏热处理对肉仔鸡生理指标的影响

由表 2 可知，急性偏热处理 2 h 对肉仔鸡体核温度、呼吸频率和皮肤温度均有极显著影响（P<0.01）。其中，31 ℃处理肉仔鸡体核温度、呼吸频率和皮肤温度极显著高于 21、26 ℃

处理（$P<0.01$）；26 ℃处理肉仔鸡体核温度和皮肤温度极显著高于 21 ℃处理（$P<0.01$），26 ℃处理和 21 ℃处理肉仔鸡呼吸频率无显著性差异（$P>0.05$）。

表 2　急性偏热环境对肉仔鸡生理指标的影响

Table 2　Effects of acute moderate ambient temperatures on physiological indices of broiler chickens

项目 Items	温度 Temperature/℃			*P* 值 *P*-value
	21	26	31	
体核温度 Core body temperature/℃	40.87±0.17^{C}	41.27±0.23^{B}	42.09±0.20^{A}	<0.000 1
呼吸频率 Respiratory frequency/(次/min)	29.78±4.36^{Bb}	32.21±13.32^{Bb}	116.45±16.78^{Aa}	<0.000 1
皮肤温度 Skin temperature/℃				
脸部 Face	40.67±0.43^{C}	41.77±0.45^{B}	42.87±0.38^{A}	<0.000 1
小腿 Leg	40.16±0.37^{C}	41.52±0.42^{B}	42.78±0.43^{A}	<0.000 1

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P<0.01$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2　急性偏热处理对肉仔鸡血气指标的影响

由表 3 可知，急性偏热处理 2 h 对肉仔鸡血液 pH、二氧化碳分压（PCO_2）、碳酸根离子离子（CO_3^{2-}）浓度有极显著影响（$P<0.01$），对氧分压（PO_2）无显著影响（$P>0.05$）。其中 31 ℃处理肉仔鸡血液 pH 极显著高于 21 ℃处理（$P<0.01$），显著高于 26 ℃处理（$P<0.05$）；31 ℃处理肉仔鸡血液 PCO_2、CO_3^{2-}浓度极显著低于 21、26 ℃处理（$P<0.01$）。26 ℃处理与 21 ℃处理肉仔鸡血气相关指标均无显著性差异（$P>0.05$）。

表 3　急性偏热环境对肉仔鸡血气指标的影响

Table 3　Effects of acute moderate ambient temperatures on blood gas indices of broiler chickens

项目 Items	温度 Temperature/℃			*P* 值 *P*-value
	21	26	31	
pH	7.45±0.06^{Bb}	7.48±0.04^{ABb}	7.56±0.04^{Aa}	0.003 9
氧分压 PO_2/kPa	7.93±1.54	8.67±1.27	9.93±2.01	0.077 2
二氧化碳分压 PCO_2/kPa	5.08±0.72^{Aa}	5.61±0.57^{Aa}	3.33±0.53^{Bb}	0.000 8
碳酸根离子 CO_3^{2-}/(mmol/L)	28.33±3.57^{Aa}	29.25±1.84^{Aa}	22.30±3.23^{Bb}	0.001 6

2.3　急性偏热处理对肉仔鸡水盐代谢指标的影响

由表 4 可知，急性偏热处理 2 h 对肉仔鸡血液 K^+浓度有极显著影响（P<0.01），对肉仔鸡血液 Na^+、Ca^{2+}、Cl^-浓度无显著影响（P>0.05）。其中 26 和 31 ℃处理肉仔鸡血液 Na^+浓度有低于 21 ℃处理的趋势（0.05<P<0.10），31 ℃处理肉仔鸡血液 K^+浓度极显著高于 21 和 26 ℃处理（P<0.01）。

表 4　急性偏热环境对肉仔鸡血液水盐代谢指标的影响

Table 4　Effects of acute moderate ambient temperatures on blood indices related in water and salt metabolism of broiler chickens　mmol/L

项目 Items	温度 Temperature/℃ 21	26	31	P 值 P-value
钠离子 Na^+	165.27±7.46	150.88±11.85	146.93±8.48	0.054 7
钾离子 K^+	4.04±0.28[Bb]	3.94±0.38[Bb]	4.56±0.57[Aa]	0.009 0
钙离子 Ca^{2+}	2.90±0.24	2.79±0.28	2.73±0.25	0.305 9
氯离子 Cl^-	111.34±10.01	116.78±7.63	116.10±9.73	0.358 2

2.4　急性偏热处理对肉仔鸡内分泌指标的影响

由表 5 可知，急性偏热处理 2 h 对肉仔鸡血液 T_3浓度有显著影响（P<0.05），对 T_4、CORT 浓度无显著性影响（P >0.05）。其中 26 和 31 ℃处理肉仔鸡血液 T_3浓度显著高于 21 ℃处理（P <0.05）；31 ℃处理血液 CORT 浓度有高于 21 ℃处理的趋势（0.05<P<0.10）。

表 5　急性偏热环境对肉仔鸡内分泌指标的影响

Table 5　Effects of acute moderate ambient temperatures on endocrine indices of broiler chickens

项目 Items	温度 Temperature/℃ 21	26	31	P 值 P-value
三碘甲腺原氨酸 T_3/(nmol/L)	4.99±1.54[a]	3.63±0.45[b]	3.56±1.14[b]	0.013 8
甲状腺素 T_4/(nmol/L)	98.65±9.88	90.12±29.75	102.19±24.68	0.493 4
皮质酮 CORT/(ng/mL)	69.51±18.15	77.48±20.80	89.50±13.31	0.054 9

3　讨　论

3.1　急性偏热处理对肉仔鸡生理机能的影响

肉仔鸡体核温度、皮肤温度和呼吸频率能够准确反映肉仔鸡体热调节状态及其热舒适性。急性热应激会升高家禽体核温度[12]。Lacey 等[2]报道，急性 31、34、37 ℃处理 5 h 引起肉仔鸡体核温度升高，且温度越高，体核温度升高的幅度越大。本试验发现，相比 21 ℃处理，26 和 31 ℃处理 2 h 极显著升高肉仔鸡体核温度，且温度越高，体核温度的升高幅度越大。环境高温同样引起禽类皮肤温度的升高，Cangar 等[13]研究发现，环境温度变化会引起肉仔鸡鸡冠、肉髯、脸部、脖颈、翅膀、腹部、小腿、蹼、趾等皮肤温度显著升高。De Souza 等[3]研究指出，肉仔鸡裸露部位皮肤温度较有羽部位对温度变化更为敏感，变化幅度更大。

在研究偏热处理对皮肤温度的影响中本试验采用红外热成像技术，此技术具有精度高、非接触、非侵入、对研究对象无干扰等诸多优点[4,14]，保证了数据的客观可靠性。本试验发现，相比 21 ℃处理，26 和 31 ℃处理 2 h 极显著升高肉仔鸡脸部及小腿的皮肤温度，且环境温度越高，皮肤温度的升高幅度越大。禽类没有汗腺，当环境温度高于临界温度时，禽类通过加快呼吸，利用蒸发散热维持体热平衡。Raup 等[15]报道，急性 35 ℃热暴露使鸡的呼吸频率由 19 次/min 骤升至 188 次/min。Zhou 等[16]研究发现，30 ℃处理 3 h，肉仔鸡呼吸频率从 30 次/min 逐渐升高到 200 次/min。本试验研究发现，31 ℃处理 2 h 使肉仔鸡每分钟呼吸次数增加 86 次，而 26 ℃处理对肉仔鸡呼吸频率无显著影响。通常认为，当环境温度高出最适环境温度时，肉仔鸡首先通过升高皮肤温度，继而通过加快呼吸等方式散热，当温度过高体热调节不能达到平衡时，肉仔鸡体核温度才会升高[17]，而本试验发现，26 ℃处理对肉仔鸡呼吸频率无显著影响，却已经显著升高体核温度。这可能跟禽类的间歇性呼吸有关，在高温环境下，肉仔鸡并不是一直处于高频率呼吸状态，而是间歇性的加快和减缓呼吸，以保证散热的同时也维持体内血液酸碱平衡。尽管相比于 21 ℃处理，26 ℃处理使体核温度升高达到极显著水平，但升高幅度仅有 0.4 ℃，而肉仔鸡一天之中体核温度也存在合理的昼夜节律变化，26 ℃环境体核温度的小幅升高或许是肉仔鸡使体核温度在合理范围内的自身调整，以减少靠蒸发散热、维持体热平衡引起的不利影响，而不是体热调节失衡的被迫升高。

3.2 急性偏热处理对肉仔鸡血气指标的影响

急性热应激时，肉仔鸡呼吸频率可达 100 次/min 以上，定义为热喘息[18]，过快的呼吸频率增大了机体内部与外界的气体交换，对血液酸碱平衡及血气指标产生影响。Arad 等[19]发现，高温环境下禽类过度换气导致血液中 CO_2 减少并诱发轻度呼吸性碱中毒。Smith 等[20]报道，急性热应激造成家禽血液 pH 升高。李静等[21]报道，37 ℃热处理 1 d，肉仔鸡呼吸频率升高 60 次/min 并引起相关血气指标的改变。本试验结果发现，急性 26、31 ℃热处理 2 h 对肉仔鸡相关血气指标有显著影响，31 ℃处理肉仔鸡血液 pH 极显著高于 21 ℃处理，血液 PCO_2、CO_3^{2-}浓度极显著低于 21 ℃处理，PO_2 有高于 21 ℃处理的趋势；26 ℃处理血气指标与 21 ℃处理无显著差异。这与急性热处理对肉仔鸡呼吸频率的影响结果一致，31 ℃处理造成肉仔鸡呼吸频率的极显著升高，26 ℃处理与 21 ℃处理呼吸频率无显著差异。可见，急性偏热处理使肉仔鸡处于热不舒适状态，通过调节呼吸、加快蒸发散热维持体热平衡，同时，过快的呼吸频率增大了机体内、外的气体交换，对血液酸碱平衡及血气指标产生了影响。

3.3 急性偏热处理对肉仔鸡水盐代谢的影响

高温环境，肉仔鸡通过增大尿量排出，带走体内多余的热量，这也是维持机体体热调节的重要途径。Van Kampen 等[22]报道，高温造成鸡尿排出量增加。Belay 等[23]报道，高温引起尿排出量增加的同时也造成体内矿物质离子的大量流失。傅玲玉等[24]报道，高温造成鸡血液 Na^+浓度下降，K^+、Ca^{2+}浓度升高。刘凤华等[25]、Deyhim 等[26]也报道高温引起禽类血液 Na^+浓度的降低。本试验研究发现，相比 21 ℃处理，急性 31 ℃处理 2 h 引起肉仔鸡血液

Na^+浓度有降低趋势、K^+浓度显著升高，对 Ca^{2+}、Cl^-浓度无显著影响，26 ℃处理与 21 ℃处理各离子浓度无显著差异。偏热处理引起肉仔鸡生理指标的升高，表明肉仔鸡处于热不舒适状态，需要通过体热调节来维持体热平衡。急性热处理条件下，大量快速的尿排放可为机体释放大量热量，同时体内矿物质离子流失，造成血液离子浓度的降低。而不同偏热程度26、31 ℃对血液离子浓度影响存在差异，可见 26 ℃急性处理对肉仔鸡热处理程度较轻，不会引起肉仔鸡通过大量排泄来维持体热平衡。

3.4　急性偏热处理对肉仔鸡内分泌功能的影响

甲状腺和肾上腺是调节机体代谢产热的重要内分泌腺，其分泌的甲状腺激素 T_3、T_4 和 CORT 是参与机体糖、脂等能量代谢，调节产热的重要激素，是动物常见的应激指标。偏热环境对动物引起热不适反应，刺激机体分泌相应激素调节体内产热，维持体热平衡。杨琳等[27]报道，环境高温可显著降低血液 T_3 浓度。Tao 等[28]研究发现，随着环境温度的升高及处理时间的延长，血液 T_3、T_4 浓度呈逐渐下降趋势。姜礼胜等[29]研究报道，32 ℃持续热处理使肉仔鸡血液 T_3 浓度先极显著下降，后逐渐升高并高于对照处理，T_4 浓度呈先升高并逐渐恢复，CORT 浓度一直显著高于对照处理。刘思当等[30]报道，33 ℃高温环境使肉仔鸡血浆 CORT 浓度显著升高。本试验结果发现，急性偏热处理 2 h 显著降低肉仔鸡血液 T_3 浓度，CORT 浓度有升高趋势，对 T_4 浓度无显著影响。这表明急性偏热 26、31 ℃处理对肉仔鸡已属偏热环境，使机体产生不同程度的热调节反应，引起血液糖皮质激素和肾上腺素的变化，一方面降低机体能量代谢，减少产热，维持体热平衡，另一面也积极调动储备能量，以应对外界应激，提供机体抗应激能力。

4　结　论

①　26 ℃急性热处理后，肉仔鸡体核温度、皮肤温度极显著升高，血液 T_3 浓度显著降低。

②　31 ℃急性热处理后，肉仔鸡体核温度、皮肤温度及呼吸频率极显著升高；血液 pH 和 K^+浓度极显著升高，PO_2 有升高趋势，Na^+浓度有下降趋势，PCO_2、CO_3^{2-}浓度极显著下降；血液 T_3 浓度显著下降。

③　与21 ℃相比，急性偏热处理（26和31 ℃）不同程度影响肉仔鸡体热调节功能。

参考文献:

[1] 张少帅,张敏红.风速在家禽热平衡调节中的作用[J].动物营养学报,2015,27(5):1348–1354.

[2] LACEY B,HAMRITA T K,LACY M P,et al.Assessment of poultry deep body temperature responses to ambient temperature and relative humidity using an on-line telemetry system[J].Transactions of the ASAE,2000,43(3):717–721.

[3] DE SOUZA J B F J R,DE ARRUDA A M V,DOMINGOS H G T,et al.RETRACTED ARTICLE:regional differences in the surface temperature of Naked Neck laying hens in a

semi-arid environment[J].International Journal of Biometeorology,2013,57(3):377–380.
[4] GILOH M,SHINDER D,YAHAV S.Skin surface temperature of broiler chickens is correlated to body core temperature and is indicative of their thermoregulatory status[J].Poultry Science,2012,91(1):175–188.
[5] 陈燕,冯京海,张敏红,等.环境高温与饲粮粗蛋白质水平对肉鸡生产性能、氮代谢和氮排放的影响[J].动物营养学报,2013,25(10):2254–2265.
[6] LIN H,JIAO H C,BUYSE J,et al.Strategies for preventing heat stress in poultry[J].World's Poultry Science Journal,2006,62(1):71–85.
[7] 张少帅,甄龙,冯京海,等.持续偏热处理对肉仔鸡免疫器官指数、小肠形态结构和黏膜免疫指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3887-3894.
[8] 尤玉双.鸡舍环境控制对生产性能影响的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2004.
[9] 甄龙,石玉祥,张敏红,等.持续偏热环境对肉鸡生长性能、糖脂代谢及解偶联蛋白mRNA表达的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2060–2069.
[10] 胡春红,张敏红,冯京海,等.偏热刺激对肉鸡休息行为、生理及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2070–2076.
[11] 张敏红,苏红光,冯京海,等.采集用于建立肉鸡生活环境舒适性评价模型数据的方法和专用装置:中国,CN103404447A[P].2013–11–27.
[12] YANAGI T, Jr.,XIN H W,GATES R S.A research facility for studying poultry responses to heat stress and its relief[J].Applied Engineering in Agriculture,2002,18(2):255–2620.
[13] CANGAR Ö,AERTS J M,BUYSE J,et al.Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers[J].Poultry Science,2008,87(12):2493–2499.
[14] EDGAR J L,NICOL C J,PUGH C A,et al.Surface temperature changes in response to handling in domestic chickens[J].Physiology & Behavior,2013,119:195–200.
[15] RAUP T J,BOTTJE W G.Effect of carbonated water on arterial pH,p_{co2} and plasma lactate in heat-stressed broilers[J].British Poultry Science,1990,31(2):377–384.
[16] ZHOU W T,FUJITA M,YAMAMOTO S.Thermoregulatory responses and blood viscosity in dehydrated heat-exposed broilers (*Gallus domesticus*)[J].Journal of Thermal Biology,1999,24(3):185–192.
[17] 颜培实,李如治.家畜环境卫生学[M].4版.北京:高等教育出版社,2011.
[18] LIM P K,GRODINS F S.Control of thermal painting[J].American Journal of Physiology:Legacy Content,1955,180(2):445–449.
[19] ARAD Z,MARDER J.Acid-base regulation during thermal panting in the fowl (*Gallus domesticus*):comparison between breeds[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part

A:Physiology,1983,74(1):125–130.
[20] SMITH M O,TEETER R G.Potassium balance of the 5 to 8-week-old broiler exposed to constant heat or cycling high temperature stress and the effects of supplemental potassium chloride on body weight gain and feed efficiency[J].Poultry Science,1987,66(3):487–492.
[21] 李静,乔健,高铭宇,等.37℃持续热应激肉鸡血气改变的动态分析[J].畜牧兽医学报,2005,36(5):471–475.
[22] VAN KAMPEN M.Water balance of Colostomised and non-Colostomised hens at different ambient temperatures[J].British Poultry Science,1981,22(1):17–23.
[23] BELAY T,WIERNUSZ C J,TEETER R G.Mineral balance and urinary and fecal mineral excretion profile of broilers housed in thermoneutral and heat-distressed environments[J].Poultry Science,1992,71(6):1043–1047.
[24] 傅玲玉,周庆堂,章怀云,等.高温对产蛋鸡的血液生化反应[J].中国畜牧杂志,1988(6):11–14.
[25] 刘凤华,谢仲权,孙朝龙,等.高温对蛋鸡血液理化指标及生产性能的影响[J].中国畜牧杂志,1997,33(5):23–25.
[26] DEYHIM F,WIERNUSZ C J,BELAY T,et al.Riboflavin and pantothenic acid requirement of the broilers through eight weeks posthatching[J].Animal Science Research Report,1990(MP-129):195–201.
[27] 杨琳,杜荣,张子仪.环境温度对鸡饲粮代谢能测值及血浆中甲状腺激素浓度的影响[J].中国动物营养学报,1992,4(2):45–49.
[28] TAO X,ZHANG Z Y,DONG H,et al.Responses of thyroid hormones of market-size broilers to thermoneutral constant and warm cyclic temperatures[J].Poultry Science,2006,85(9):1520–1528.
[29] 姜礼胜,林映才,蒋宗勇,等.肉鸡饮服“必补-18”的抗应激效果研究(Ⅱ)[J].畜牧与兽医,1997,29(5):197–200.
[30] 刘思当,宁章勇,谭勋,等.热应激对肉仔鸡血液生化指标影响的观察[J].中国兽医杂志,2003,39(9):20–23.

Effects of Acute Moderate Temperatures on Function of Body Thermoregulation of Broiler Chickens

ZHANG Shaoshuai[1] ZHEN Long[1,2] ZHANG Minhong[1*] FENG Jinghai[1] PENG Qianqian[1,2] CHANG Yu[1] ZHOU Ying[1] LI Xiang[1,2] LI Meng[1,3]

(1. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of*

*Corresponding author, professor, E-mail: zmh66@126.com

（责任编辑　陈　燕）

Agricultural Sciences, *Beijing* 100193, *China*; 2. *College of Agriculture*, *Hebei University of Engineering*, *Handan* 056021, *China;* 3. *College of Animal Science and Technology*, *Northeast Agricultural University*, *Harbin* 150030, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of three different acute ambient temperatures (21， 26 and 31 ℃) on function of body thermoregulation of broiler chickens. Twenty-four 40-day-old male Arbor Acres (AA) broiler chickens were assigned to three environment controlled chambers, each chamber contained eight birds (as eight replicates). The pre-test period lasted for two days and birds were kept at 21 ℃ and 60% relative humidity. When broiler chickens were 42 days of age, the temperatures of each environment chamber were regulated to 21 (control), 26 and 31 ℃ finishing within an hour, respectively, while maintaining the relative humidity at 60% and keeping for two hour, then collecting samples. The results showed as follows: compared with 21 ℃ treatment, 1) 26 ℃ treatment significantly increased core body and skin temperatures of broiler chickens (P<0.01). There were no significant effects on respiratory rate and blood gas indices (P>0.05). The concentrations of sodion (Na^+) in blood had a decreasing tend （0.05<P<0.10）. And the concentration of 3,5,3'-triiodothyronine (T_3) in blood was decreased significantly (P<0.05). 2) 31 ℃ treatment significantly increased core body and skin temperatures, respiratory rate, pH and potassium ion (K^+) concentration in blood (P<0.01). The carbon dioxin pressure (PCO_2) and the concentration of carbonate ion (CO_3^{2-}) were significantly decreased (P<0.01), while the concentration of T_3 was significantly decreased (P<0.05). Oxygen pressure (PO_2) and cortisol (CORT) concentration had increasing tends （0.05<P<0.10）, while a decline tend was observed at the concentration of Na^+ (0.05<P<0.10). In conclusion, compared with 21 ℃ treatment, acute moderate temperature treatments (26 and 31 ℃) can affect function of body thermoregulation of broiler chickens in different degrees.

Key words: acute moderate temperature; broiler chickens; body thermoregulation